

Key operations management indicators to ensure the sustainability of South America's green manufacturing industries.

Gloria Valdivia, Doctor¹, Fredy Castillejo, Mg.²

¹Facultad de ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima. gvaldivia@uni.edu.pe

²Unidad de posgrado Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (UNI), Perú, fecastillejom@uni.pe

Abstract– This article deals with the identification, approval and analysis of key indicators of operations management, to ensure the sustainability of the green manufacturing industries of our countries in South America.

In the current context of competitiveness and the need to revive our economies, indicators are instruments used by companies to assess their performance and the level of efficiency and efficiency of processes. It is for this reason that some South American countries with a strong influence from the mining industry have long been developing some productivity and environmental indicators, but not an effective indicator system, with a general sustainable development approach, which must incorporate the economic, social, environmental and institutional dimensions of development leaving aside the purely operational indicators of sustainable productive activities.

The research deals with the application of the proposed sustainable indicator system to a regional chemical industry whose activities have evolved periodically to this day contributing to the transformation to a green industry.

Keywords: *Operations management, productivity indicators, sustainability indicators.*

Resumen

El presente artículo, trata de la identificación, homologación y análisis de indicadores claves de la gestión de operaciones, para asegurar las sostenibilidad de las industrias manufactureras verdes de nuestros países en Sudamérica.

En el contexto actual de competitividad y la necesidad de reactivar nuestras economías, los indicadores son instrumentos utilizados por las compañías para evaluar su rendimiento y el nivel de eficiencia y eficacia de los procesos. Es por esta razón que algunos países sudamericanos con una fuerte influencia de la industria minera están desarrollando, desde hace un tiempo algunos indicadores de productividad y ambientales, pero no propiamente un sistema de indicadores efectivo, con un enfoque de desarrollo sostenible a nivel general, los cuales deben incorporar las dimensiones económica, social, ambiental e institucional del desarrollo dejando de lado los indicadores netamente operativos de las actividades productivas sostenibles.

La investigación trata de la aplicación del sistema de indicadores sostenibles propuesto a una industria química regional cuyas actividades han evolucionado periódicamente hasta la actualidad contribuyendo para la transformación a una industria verde.

Palabras claves: Gestión de operaciones, indicadores de productividad, indicadores de sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchas industrias de diferentes sectores manufactureras no reportan su nivel de sostenibilidad relacionado con la gestión operativa debido a que no existe un sistema de indicadores que permita evaluar permanentemente su desempeño así como sus fortalezas y debilidades.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.429>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Esta situación exige comprender y explicar las prácticas medioambientales en las empresas para tomar decisiones adecuadas y reducir los efectos nocivos de la industrialización, siendo respetuoso con el medio ambiente, y aprovechando nuevas oportunidades económicas, alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)[1].

Los indicadores, identificados y desarrollados específicamente para los usuarios correspondientes, constituyen un sistema de señales que permiten a los países evaluar su progreso hacia el desarrollo sostenible. Finalmente, no se analiza la profusión creciente de indicadores de sostenibilidad de nivel exclusivamente regional, provincial, local, temático o sectorial, lo que nos hace perder competitividad.

En los últimos años, se evidencia un desarrollo abundante en el ámbito de los indicadores para la toma de decisiones, particularmente por parte de los países desarrollados. Algunos países están desarrollando indicadores de sostenibilidad ambiental, mientras que más recientemente, otros trabajan desde el enfoque de desarrollo sostenible, esto lo realizan incorporando (pero no necesariamente vinculando) las dimensiones económica, social, ambiental e institucional del desarrollo, sin mostrar aquellas iniciativas que son relevantes desde nuestra perspectiva operativa.

Se ha propuesto una variedad de indicadores para determinar el nivel de sostenibilidad corporativa. Se pueden utilizar tres criterios diferentes para clasificarlos, los cuales son: (a) unidades de medida (unidades de medida financieras y no financieras o una combinación de ellas), (b) aspectos de la sostenibilidad en los que se centra la metodología (por ejemplo, medioambientales, sociales, eco-eficientes, y (c) la naturaleza de los índices propuestos [20] .

En un ámbito de desarrollo conceptual, aplicado, metodológico e instrumental, se consideró oportuno ofrecer una visión panorámica sobre los indicadores, sistematizando experiencias seleccionadas para orientar el desarrollo de iniciativas de las empresas manufactureras de nuestros países sudamericanos, para mejorar los procesos colectivos con el objetivo de gestionar las operaciones para un desarrollo sostenible.

II. ANTECEDENTES

La sostenibilidad es el equilibrio que se genera a través de una relación armónica entre la industria y la naturaleza que lo rodea y que esta de relación perdure a lo largo del tiempo. Esto implica promover el desarrollo económico y alcanzarlo, pero sin amenazar, afectar ni degradar el ambiente mediante la

incorporación de componentes nocivos en el medio ambiente, que represente un perjuicio para la sociedad. La contaminación ambiental está originada principalmente por causas derivadas de la actividad productiva, como la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero, desechos de envases contaminados, actividades operativas que afecten a la población, el uso desmedido de agua subterránea entre otros.

De acuerdo con la guía para “avanzar hacia el desarrollo sostenible – indicadores de producción “elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el [2]. Caribe donde se recomienda el uso de los 56 indicadores para una producción más verde donde se dividen en categorías de usos y consumo de:

- Materias primas y otros insumos
- Agua
- Energía
- tecnologías verdes
- Desechos
- Aguas residuales
- Emisiones atmosféricas
- Innovación
- Informes de sostenibilidad
- Ingresos, gastos corrientes e inversiones relativas al uso de recursos.
- Operaciones relacionadas con el sector gubernamental en el fomento del uso de tecnología ambientales y fuentes de energías renovables.

La industria manufacturera se puede clasificar en aquellas industrias que procesan recursos primarios y las industria no primarias, se pueden sub clasificar en mediana y gran empresa, pequeña empresa y microempresas. Este tipo de industrias requieren medir y evaluar su evolución en la sostenibilidad de una manera eficaz sin tener que recurrir a los 56 indicadores que propone la CEPAL.

Se revisado y ampliado los indicadores de sostenibilidad con la finalidad de adaptarse al contexto de América latina donde las principales actividades con mayores conflictos socioambientales están relacionados con las actividades minería , las actividades de uso de agua y aquellas actividades conexas a estos rubros.

Schrippe y Duarte identificaron dieciocho criterios preponderantes para la definición de Sostenibilidad Corporativa con seis dominios preponderantes como son : (i) Gobierno Corporativo; (ii) General; (iii) Económico y Financiero; (iv) Naturaleza del Producto; (v) Ambiental; y (vi) cambios climáticos. Los hallazgos indican que la excelencia

en sostenibilidad depende en gran medida del compromiso de la alta dirección de las empresas. También encontraron que las dimensiones clásicas: Ambiental, Social y Económica no son suficientes para asegurar la de Sostenibilidad Corporativa. Contrario al enfoque clásico. En el estudio, que comprende una muestra de sesenta grandes empresas brasileñas comprometidas con la sostenibilidad, no se clasificó como preponderante ni un solo criterio de dimensión social. Esto es una evidencia de la dificultad de evaluar o valorar las acciones sociales, caracterizando una brecha en la implementación integral de la de Sostenibilidad Corporativa [19].

Hatim et. al. presentan una metodología sistemática para permitir la evaluación del desempeño de la productividad y la sustentabilidad ambiental para procesos integrados y planes de operación a nivel de un sistema de fabricación. Este enfoque determina los planes óptimos de procesos y operaciones a partir de una gama de posibles alternativas que satisfacen los objetivos y las limitaciones. La metodología proporciona un procedimiento sistemático para resaltar los parámetros que tienen un impacto significativo en las métricas de rendimiento de la sostenibilidad y la productividad [18].

Neri et. al. hacen una revisión exhaustiva de la literatura y proponen un nuevo conjunto de KPI basado en un marco integrado de Balance Score Card - Supply Chain Operations Reference. Si bien incluye un número limitado de KPI, el conjunto propuesto: i) asegura una cobertura equilibrada de los pilares de sostenibilidad y las intersecciones relacionadas; ii) aborda diferentes niveles de toma de decisiones, bases financieras y componentes de desempeño; iii) aborda simultáneamente el desempeño de sustentabilidad de toda una cadena de suministro. El conjunto de indicadores que proponen resultaron adecuados para diferentes contextos de aplicación y apropiado para la evaluación del desempeño de sostenibilidad de una cadena de suministro en general [17].

Según el contexto actual las actividades mineras son las que más impacto tienen en el desarrollo de los países de América latina, situando a Chile, Perú, Bolivia y Ecuador y cuyas actividades industriales de manufactura han tenido un crecimiento impulsado principalmente por el sector minero y de construcción.

Se ha seleccionado 15 indicadores que recomienda la CEPAL y se ha incorporado 5 nuevos indicadores que en conjunto ayudan a medir el desempeño operativo de las industrias manufactureras.

INTENSIDAD DE USO DE VEHÍCULOS PARA EL TRASPORTE DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS (I vtransp).

Este indicador mide el uso de vehículos de transporte para la distribución de materias primas, insumos, productos intermedios y productos finales a las diferentes industrias ocasionando conflicto socioambientales en aquellas regiones con alta flujo vehicular afectando directamente al desempeño operativo de la industria.

INTENSIDAD ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS PELIGROSOS ELABORADOS Y SEMI ELABORADOS PARA DESTINO FINAL (I alm pp).

El almacenamiento prolongado de productos peligrosos almacenados en regiones aledañas a las zonas habitacionales es un riesgo para los habitantes, tal es el caso de países altamente industrializados con la minería donde se disponen de almacenes de concentrados cerca a los puertos que afectan a la población.

INTENSIDAD ALMACENAMIENTO DE INSUMOS PELIGROSO PARA DESTINADO FINAL (I alm pp).

Las actividades industriales requieren de materias primas a gran volumen y muchas veces no dispone de medios de almacenamiento en su zona de operaciones y recurren al almacenamiento fuera de planta y esto representa un riesgo para los habitantes debido a que hay almacenes logísticos cercanos a zonas habitacionales.

INTENSIDAD DE GENERACIÓN DE COV (Imob).

Representa la cantidad de compuestos orgánicos volátiles que es emitido a la atmósfera como resultado de los procesos de transformación, uso, aplicación en las instalaciones industriales. Las emisiones de COV pueden ser estimadas determinando el carbono contenido en el monitoreo de las emisiones y el balance de materia.

INTENSIDAD DE USO MANO DE OBRA (IMOB).

Representa al esfuerzo humano aplicado al proceso de producción y puede ser físico o mental. En la actualidad es un factor de producción, es escaso y por ello tiene un precio dentro del mercado.

En la Tabla I se muestra los principales indicadores de sostenibilidad permiten el análisis ágil del desempeño de la sostenibilidad de las industrias manufactureras verdes.

TABLA I

SISTEMA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA INDUSTRIAS MANUFACTURERAS VERDES

Acrónimo	Indicador	Detalle
Imatp	Intensidad de uso de materias primas*.	Razón entre intensidad de uso de materias primas y la intensidad de la producción de bienes.
Pm	Productividad material*.	La intensidad de uso de recursos materiales en las actividades productivas de la industria.
Ien	Intensidad energética *.	La intensidad de uso de energía eléctrica, gas natural y otros en las actividades productivas de la industria.
Pen	Productividad energética *.	Razón entre intensidad de uso de energía y la intensidad de la producción de bienes
Pagua	Productividad del agua	Razón entre intensidad de uso de agua y la intensidad de la producción de bienes
Iagua	Intensidad de uso del agua	La intensidad de uso de agua en la actividad productiva de la industria.
Utagua	Uso total de agua.	La intensidad de uso de agua en todas la actividades productivas y no productivas de la industria.
Ien-em	Intensidad de uso de envases y embalajes destinados a empaquetar el producto final.	Intensidad de uso de envases y embalaje y la intensidad de la producción de bienes
R matpp	Proporción de materias primas peligrosas utilizadas.	Razón entre intensidad de materias primas peligrosos y la intensidad de producción de bienes
I vtransp	Intensidad de uso de vehículos para el transporte de materias primas y productos	Intensidad de uso de vehículos de transporte de materias primas y productos terminados
I alm pp	Intensidad Almacenamiento de productos peligrosos elaborados y semi elaborados para destino final.	Intensidad de almacenamiento de productos finales peligrosos a 200 metros de una población
I alm mpp	Intensidad Almacenamiento de insumos peligroso para destinado final	Intensidad de almacenamiento de materiales peligrosos a 200 metros de una población

R agua-r	Proporción de agua reciclada utilizada*.	Razón de uso de agua reciclada en la producción de bienes
R agua-des	Proporción de agua desalinizada utilizada	Razón de uso de agua desalinizada en la producción de bienes
I desecho	Intensidad de generación de desechos	Intensidad de desechos generados e las actividades manufactureras
R desechp	Proporción de desechos peligrosos generados	Razón entre intensidad de desechos peligrosos y la producción de bienes
R desec-en	Proporción de desechos de envases generados	Razón entre intensidad de desechos generados y la producción de bienes
I CO2	Intensidad de generación de CO2	La intensidad de generación de CO2 generados en las actividades manufactureras
ICOV	Intensidad de generación de COV	La intensidad de generación de compuestos orgánicos volátiles generados en las actividades manufactureras
Imob	Intensidad de uso mano de obra	La intensidad de Mano de obra. Esfuerzo y/o conocimiento que una persona aporta para llevar a cabo una tarea productiva

III. CÁLCULO DE NIVEL DE SOSTENIBILIDAD DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA.

La importancia del uso de los indicadores de sostenibilidad radica en la definición de los límites para el mejor y peor caso para cada uno de los indicadores (i) [6]. Estos límites crean una escala adimensional para cada indicador de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Desempeño (i) = \%D(i) = \frac{Caso\ actual(i) - Peor\ caso(i)}{Mejor\ caso(i) - Peor\ caso(i)} \times 100\%$$

Así que los procesos reales tienen valores de atributo dentro de los límites de mayor objetivo y el peor de los casos, que definen el 100% y 0% de sostenibilidad, respectivamente. Uno de los aspectos fuertes de esta metodología es la posibilidad de comparar las industrias manufactureras en las mismas escalas, utilizando los mismos límites [9].

La Tabla II se presenta un resumen del resultado de las ponderaciones de importancia de los indicadores de evaluación de la fabricación sostenible en las industrias manufactureras verdes. Las ponderaciones de importancia muestran el valor de importancia de un indicador sobre otro indicador. Se muestra que los indicadores de mayor importancia son los relacionados con el manejo de materias primas peligrosas, el uso y reúso del agua.

TABLA II. VALORES DE IMPORTANCIA MEDIA DE LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

Codigo	Indicador	Nivel de importancia (Nimp)
R matpp	Proporción de materias primas peligrosas utilizadas.	0.083
R agua-r	Proporción de agua reciclada utilizada.	0.083
Pagua	Productividad del agua	0.069
Iagua	Intensidad de uso del agua	0.069
I alm mpp	Intensidad Almacenamiento de insumos peligroso para destinado final	0.063
I desecho	Intensidad de generación de desechos	0.063
R desechp	Proporción de desechos de envases generados	0.063
I vtransp	Intensidad de uso de vehículos para el trasporte de materias primas y productos	0.056
I alm pp	Intensidad Almacenamiento de productos peligrosos elaborados y semi elaborados para destino final.	0.056
R desechp	Proporción de desechos peligrosos generados	0.056
ICOV	Intensidad de generación de COV	0.049
UTagua	Uso total de agua.	0.042
Ien-em	Intensidad de uso de envases y embalajes destinados a empaquetar el producto final.	0.042
Imob	Intensidad de uso mano de obra	0.042
Ien	Intensidad energética	0.035
Pen	Productividad energética.	0.035
Imatp	Intensidad de uso de materias primas.	0.028
R agua-des	Proporción de agua desalinizada utilizada	0.028
Pm	Productividad material	0.021
I CO2	Intensidad de generación de CO2	0.021

CÁLCULOS

Los valores generados a partir de la calificación de desempeño (%D) se combinan con las ponderaciones de importancia correspondientes a los indicadores de sostenibilidad para obtener las calificaciones de la empresa. La puntuación de la empresa se calcula para la puntuación general y también para la puntuación individual de cada factor. El puntaje general y el

puntaje individual de cada factor de empresas se pueden clasificar y evaluar el nivel de desempeño.

$$Desempeño\ total = \sum_{i=1}^{20} \%D(i) \times Nimp(i)$$

IV. CASO DE APLICACIÓN

El sistema de indicadores de evaluación se ha aplicado a un caso de una empresa de fabricación de productos químicos para la minería ubicado en la provincia del Callao, Perú. Se pidió al gerente de operaciones que evaluaran estos indicadores en tres etapas de crecimiento de la industria para el periodo del 2010, 2015 y 2020 utilizando la metodología de evaluación de fabricación sostenible utilizando al escala 0 al 100%. Los valores de calificación se utilizan para calcular la puntuación de la empresa que consiste en la puntuación general y las puntuaciones individuales de cada factor.

Para el caso de aplicación con respecto al indicador de intensidad de uso de agua (Iagua), se ha tomado: el “peor caso” el valor de los indicadores en el año 2008 y en el escenario de la capacidad total de planta, el “mejor caso” corresponde a los retos planteados en el 2015 como parte de los objetivos estratégicos del área de operaciones.

Por ejemplo en el 2015 se estableció estratégicamente reducir el consumo de agua subterránea a 60 litros/min (mejor caso), sin embargo el 2008 el consumo histórico de agua fue de 240 l/min (peor caso).

V. RESULTADOS

El indicador de intensidad de uso de agua (Iagua) en el 2010 muestra que se redujo el consumo de agua de 240 a un promedio de 200 litros/min, con la instalación de rotámetros de flujo en todos los puntos de consumo de agua. En el 2015 se redujo el consumo de agua a 160 litros/min, cuando se puso en práctica el reciclo de agua de las bombas de vacío de las plantas y en el 2020 se logró reducir a un consumo de 95 litros/min, al aplicar el reciclo de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales en los servicios industriales.

En la Tabla III se muestra la calificación para el desempeño de los 20 indicadores de sostenibilidad y el progreso que se ha tenido en los últimos 10 años.

TABLA III. CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO TOTAL EN SOSTENIBILIDAD PARA LOS AÑOS 2010, 2015 Y 2020.

Codigo	Indicador	N. Importancia	2010	2015	2020
R matpp	Proporción de mat. primas peligrosas utilizadas.	0.083	0.0	0.0	0.0
R agua-r	Proporción de agua reciclada utilizada	0.083	0.0	29.4	70.6
Pagua	Productividad del agua	0.069	8.3	18.3	58.3
Iagua	Intensidad de uso del agua	0.069	22.2	44.4	80.6
I alm mpp	Intensidad Almacenamiento de insumos peligroso para destinado final	0.063	20.0	0.0	0.0
I desecho	Intensidad de generación de desechos	0.063	0.0	0.0	24.0
R desec-en	Proporción de desechos de envases generados	0.063	50.0	65.0	77.5
I vtransp	Intensidad de uso de vehículos para el transporte	0.056	100.0	80.8	11.5
I alm pp	Intensidad Almacenamiento de productos peligrosos elaborados y semi elaborados para destino final.	0.056	100.0	84.7	0.0
R desechp	Proporción de desechos peligrosos generados	0.056	14.8	24.0	37.5
ICOV	Intensidad de generación de COV	0.049	8.3	18.3	51.8
UTagua	Uso total de agua.	0.042	11.1	53.9	91.7
Ien-em	Intensidad de uso de envases y embalajes destinados a empaquetar el producto final.	0.042	4.5	25.7	73.9
Imob	Intensidad de uso mano de obra	0.042	0.0	6.3	37.5
Ien	Intensidad energética	0.035	30.0	62.5	87.5
Pen	Productividad energética.	0.035	0.0	50.0	50.0
Imatp	Intensidad de uso de materias primas.	0.028	17.7	22.5	37.7
R agua-des	Proporción de agua desalinizada utilizada	0.028	0.0	0.0	0.0
Pm	Productividad material	0.021	17.7	22.5	37.7
I CO2	Intensidad de generación de CO2	0.021	100.0	100.0	100.0
Desempeño Total (%)			23.5	33.0	44.3

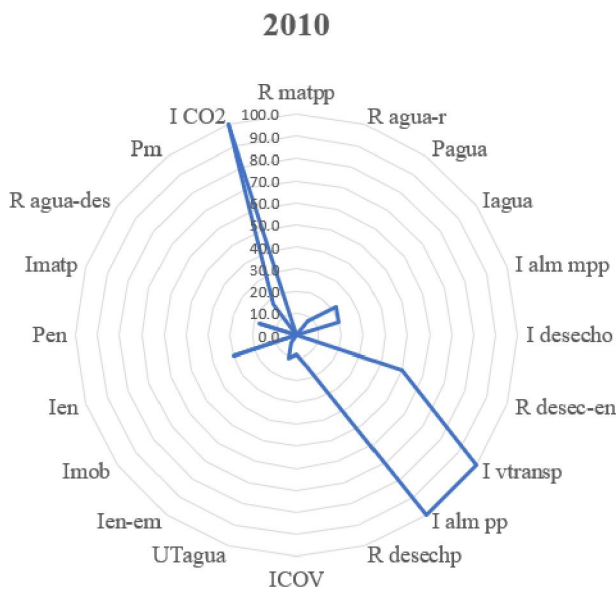


Fig. 1 Desempeño de los indicadores de desarrollo sostenible para el año 2010

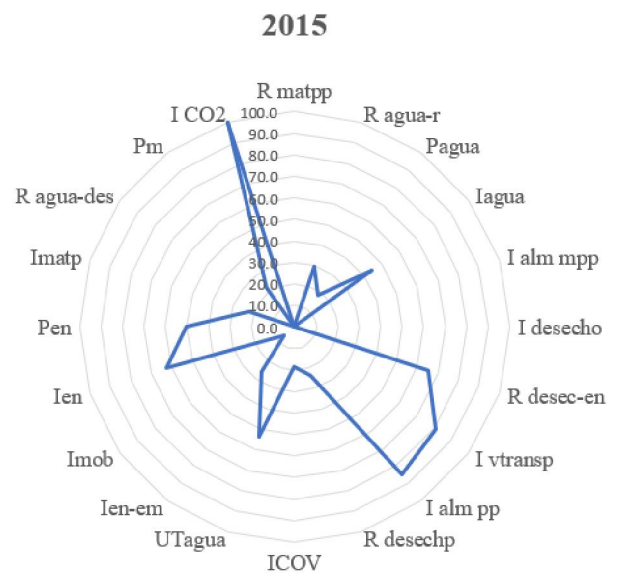


Fig. 2 Desempeño de los indicadores de desarrollo sostenible para el año 2015

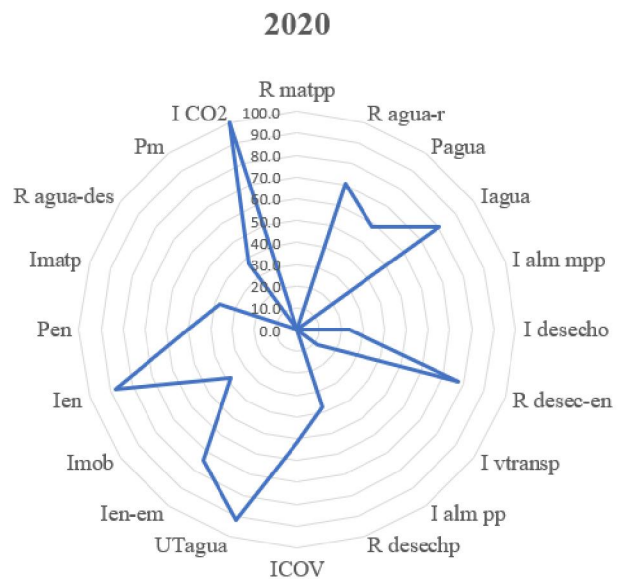


Fig. 2 Desempeño de los indicadores de desarrollo sostenible para el año 2020

VI. CONCLUSIONES

Las industrias manufactureras son consumidores intensivos de materias primas naturales, materiales peligrosos, energía,

compuestos de alta emisión de contaminantes y mano de obra. Por tanto, es fundamental evaluar la fabricación sostenible en estas industrias, ya que con ello se puede mejorar hasta en un 40% la eficiencia.

En este artículo se ha desarrollado un sistema de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de la fabricación sostenible en las industrias manufactureras verdes, las que se validaron según el uso práctico en el caso presentado.

Con base en los resultados, se proponen un total de 20 indicadores claves para la gestión de operaciones que aseguren la sostenibilidad de las industrias manufactureras verdes de Sudamérica.

Los resultados muestran la evolución del nivel de desempeño total en los indicadores de sostenibilidad de 23.5% para el 2010, 33% para el 2015 y 44.3% para el año 2020, logrando un mayor rendimiento económico y la mejora de la competitividad.

REFERENCIAS

- [1] PAGE, "Perú: La transición hacia una industria verde. Perspectivas de la industria manufacturera", 2015.
- [2] Nikolaou I.E., Tsalis T.A., Evangelinos K.I., A framework to measure corporate sustainability performance: A strong sustainability-based view of firm. Sustainable Production and Consumption, doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.10.004>, 2018.
- [3] CEPAL, "Indicadores de producción verde. Una guía para avanzar hacia el desarrollo sostenible", Organización de Naciones Unidas, Santiago, 2017.
- [4] Schrippe P., Duarte J.L., Preponderant criteria for the definition of corporate sustainability based on Brazilian sustainable companies, Journal of Cleaner Production, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.001, 2018.
- [5] Hatim Q.Y, Saldana C., Shao G., Kim, D.B, Morris K. C., Witherell P., Rachuri S., Kumara S., A decision support methodology for integrated machining process and operation plans for sustainability and productivity assessment, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04268-y>, 2020.
- [6] Neri A. , Cagno E. , Lepri M. , Trianni A. , A triple bottom line balanced set of Key Performance Indicators to measure the sustainability performance of industrial supply chains, Sustainable Production and Consumption doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.018>, 2020.
- [7] Ruiz-Mercado GJ, Smith RL and Gonzalez MA, "Sustainability indicators for chemical processes: I. taxonomy." Ind Eng Chem Res. 51(5):2309–2328 , 2012.
- [8] Ruiz-Mercado GJ, Gonzalez MA and Smith RL, "Sustainability indicators for chemical processes: III. Biodiesel case study." Ind Eng Chem Res. 52(20):6747–6760 ,2013.
- [9] Smith RL, Tan ECD and Ruiz-Mercado GJ, "Applying environmental release inventories and indicators to the evaluation of chemical manufacturing processes in early stage development." ACS Sustain Chem Eng 7:10937–10950 ,2019.
- [10] J. Warner, A. Cannon & K. Dye, "Green chemistry,". Environmental Impact assessment Review, vol. 24, pp. 775-799, 2004.
- [11] Montes-Valencia, "La Industria Química: Importancia y Retos", Lámpsakos, N° 14.,pp. 72-85, 2015
- [12] J. B. Manley, P. T. Anastas & B. W. Cue, "Frontiers in Green Chemistry: meeting the grand challenges for sustainability in R&D and manufacturing," Journal of Cleaner Production, vol. 16, pp.743-750, 2008.
- [13] W. R. Melchert, B. F. Reis & F.R. Rocha, "Green chemistry and the evolution of flow analysis. A review,". Analytica Chimica Acta, vol. 714,pp. 8– 19. , 2012.
- [14] Vargas & L. Ruiz, "Química verde en el siglo XXI; química verde, una química limpia," Revista cubana de química, vol. 21, no. 1,pp. 29-32. , 2007.
- [15] T. Anastas, J. C. Warner, "Green Chem Theory and Practice", Oxford Univ. Press, New York, 1998.
- [16] Gonzales Pérez, Vicente (Ed.). "Industria y medio ambiente." Alicante: Publicaciones de la universidad de Alicante, p. 327-335 , 2000.
- [17] Bakshi, B. R., "Methods and tools for sustainable process design". Chemical Engineering, 6, 69-74, 2014.
- [18] Smith, R. L., & Ruiz-Mercado, G. J., "A method for decision making using sustainability indicators." Clean Techn Environ Policy, 16, 749-755, 2014.
- [19] Smith, R. L., Ruiz-Mercado, G. J., & Gonzalez, M. A., "Using GREENSCOPE indicators for sustainable computer-aided process evaluation and design". Computers and Chemical Engineering, 81, 272-277, 2015.
- [20] Ruiz-Mercado GJ, Smith RL and Gonzalez MA, "Sustainability indicators for chemical processes: II. Data needs." Ind Eng Chem Res. 51(5):2329–2353 , 2012.